



TITLE:

<産業界の技術動向>太陽光発電を取り巻く状況と、将来に向けての研究課題

AUTHOR(S):

櫻井, 啓一郎

CITATION:

櫻井, 啓一郎. <産業界の技術動向>太陽光発電を取り巻く状況と、将来に向けての研究課題. Cue 2020, 43: 9-15

ISSUE DATE:

2020-03

URL:

<https://doi.org/10.14989/251243>

RIGHT:

産業界の技術動向

太陽光発電を取り巻く状況と、将来に向けての研究課題

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
太陽光発電研究センター 櫻井 啓一郎

1. はじめに

半世紀ほど前（1970年頃）、家一軒分の太陽電池（3kW）は数億円した。それが昨今の国際的な取引価格では約10万円 [1] と、数千分の1になった（図1）。昼より安い。化石燃料を輸入するよりも安い。メーカーは儲からなくなったが、使う側にとっては朗報である。今や世界の人口の2/3にとって、太陽光発電（以下、太陽光）もしくは風力発電（同、風力）、あるいはその両方が、最も安い電源となっている [2]。今後さらに安くなり、世界最安のエネルギー源になる見込みである。最近では、世界の全エネルギーを再生可能エネルギー（再エネ）で賄っても、エネルギーコストは現状と同程度にできると見積もられているほどである [3]。もちろん太陽光は発電量あたりの排出量が化石燃料火力の数%程度と低く、気候変動対策になる。技術向上と、製造等に用いるエネルギーの低炭素化に伴い、さらに低排出になっていくと見込まれる [4]。

そんな期待を集める太陽光は昨年、世界で約100GWが導入され、今後も増える見込みである。気候変動対策が全く遅れている中 [5]、さらなる普及加速の必要性が指摘されている [6]。特にこれから、あるいは今まさにエネルギー需要が急増している国々にとっては、太陽光や風力のような再エネの普及は急務である。以下、再エネや蓄電池、EV等の動向や見通しについて、筆者の私見を交えつつ紹介する。

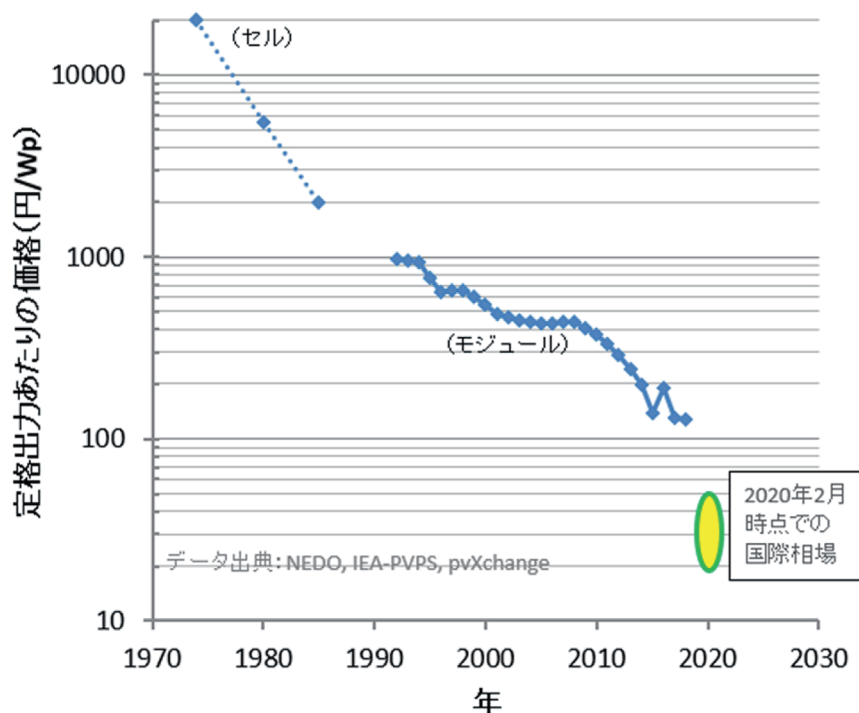


図1 日本における太陽電池の価格の推移

2. 途上国・新興国における低炭素化

再エネはとにかくコストは安くなったので、途上国でこれらを使った分だけ、エネルギーのコストを節約でき、排出量削減にもなる。逆に従来のように化石燃料ばかり使い続けていけば、温暖化ガスの排出コストが上がったときに経済的な大打撃となるリスクがある上、気候変動の影響を受けやすいのもこうした途上国である。かといって原子力発電も、確かに低炭素ではある一方、放射性物質取扱の技術や政情の安定性、相応の送配電インフラ等が必要となるために導入が難しいケースも多い。

このためこうした国々の電化ではコストだけでなく技術的にも再エネが向いているのだが、再エネにも欠点がある。多くの再エネ（バイオマス除く）は燃料が要らず、また20～30年以上の稼働期間全体で均せば低コストだが、代わりに初期投資が大きい。取り扱うための技術者やノウハウが不足し、融資を得るのが難しいケースも多い。途上国の温暖化対策で本当に必要なのは、単純なコストの安さよりも、技術・ノウハウ・人材と、それらの上に成り立つ融資の面での支援だと言える。確かに最初は大変であるが、長い目で見れば、化石燃料ばかり使い続けるよりも低リスクかつ低コストになるはずである。逆に言えば、途上国での温暖化対策が損だとする主張は、どこかの点で近視眼的、もしくは科学的に不適切な前提に基づいているものと思われる。とは言え太陽光や風力は時間や天候によって出力が変動する等、化石燃料とはだいぶ使い勝手が異なる。

3. 蓄電池は当面、「必須」ではない

太陽光や風力は、運転に燃料が要らない。だからこれらが発電しているときは最優先で活用し、他の発電所の燃料や貯水（ダム式水力）の節減を図るのが、最もお得な使い方となる。気象予報等を元に出力を予測し、それを参考に火力発電等の運転量を減らす（図2）。つまり今時の天気予報は出かける時の傘の要不要に留まらず、エネルギーインフラを支えるのに欠かせない情報となっている。

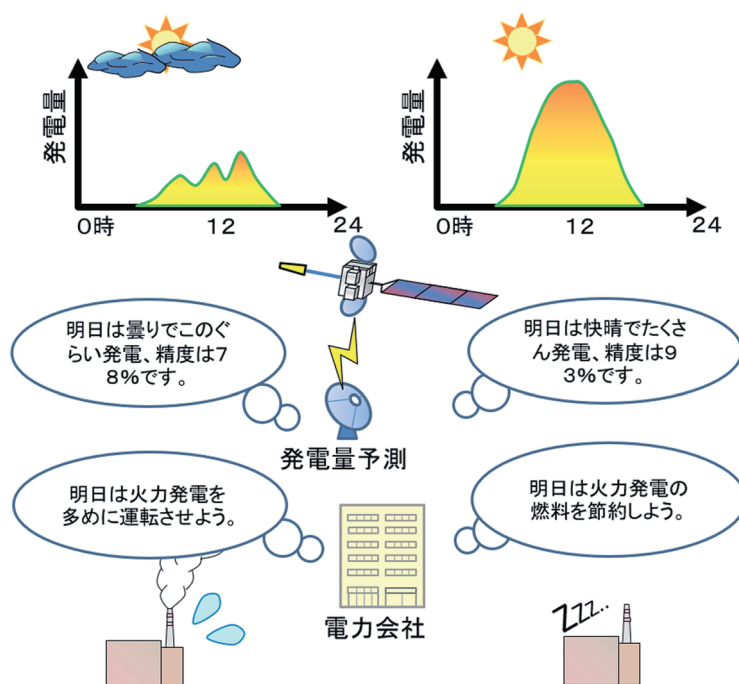


図2 出力予測に基づいた火力発電運転量節減のイメージ

発電側だけでなく、需要側にも調整の余地がある。例えば天候が晴れなら太陽光発電がたくさん発電するが、その時は電力を安くするのである（気象予測に基づいて、事前に計画できる）。するとその安いときを狙って、金属精錬を多めに行ったり、家庭ならばエコキュートを昼間に運転したりすることで、需要をその時間帯に誘導できる。このように需要の時間をシフトさせる手法を総称して、需要の能動化と呼ぶ [7]。

では需要を誘導してもなお発電量が余る時は、どうすべきだろうか。勿体ない、蓄電池に貯めて…と思われるかも知れない。だがそもそも太陽光や風力は、運転に燃料が要らない。年間の発電量の数%程度ならば、出力を抑えてしまう（出力抑制）のが合理的だ。その数%を捨てても平均の発電コストが数%上がるだけだが、それを防ぐために蓄電池をつけてコストが何割も上がったのでは、本末転倒である。

一般的には、日本のような国際連系線（国同士を繋ぐ送電線）が無い国であっても、太陽光や風力が年間の電力供給に占める割合が 25～40% 程度までは、蓄電池を使う必然性は無いとされる [7]。蓄電池の本格的な利用は、将来たとえば太陽光と風力のシェアが 5 割とか 6 割とかを超えてから初めて「必要」になり、それも電気自動車（EV）の蓄電池を拝借する形態が主体になるものと思われる。もっとも昨今の EV や蓄電池の価格低減ペースからすると、そこまで再エネのシェアが高まる前に、蓄電の利用が始まるケース也多そうである。

4. EV が世界のエネルギー情勢を変える

定置型の蓄電池も、家庭用や、系統の短時間の調整用途には現状でも用いられ始めている。しかし EV ならば電力系統側からはバッテリー自体のコストを考慮しなくて良いので、より優先的に活用するのが合理的である。EV が充電器に繋がっているとき、その蓄電池の能力を少し拝借して、需給調整に役立てることが可能だ。

電気自動車と言えば、高価、航続距離が短い、バッテリーが劣化する、低温に弱い、等の批判を思い浮かべる方も多いだろう。昨今の EV は、このいずれの欠点も克服しつつある。

- 車両価格：あと数年で内燃機関車と並び始める見込み [8]。
- 航続距離：500km を超えるものも売られている。そもそも充電が速ければ、そんなに長い航続距離が必要ないケースも多いと考えられる（後述）。
- バッテリーの劣化：例えばテスラ車（パナソニック製バッテリー）の場合、20 万キロ走っても初期の 9 割以上の性能を保つようである [9]。
- 低温時の特性：取り出せる電力が減る。バッテリーヒーターの無い車種では 4 割落ちることもあるが、バッテリーを温める機構がついていれば例えば 2 割程度で済む。北国のノルウェーでも、新車の半分

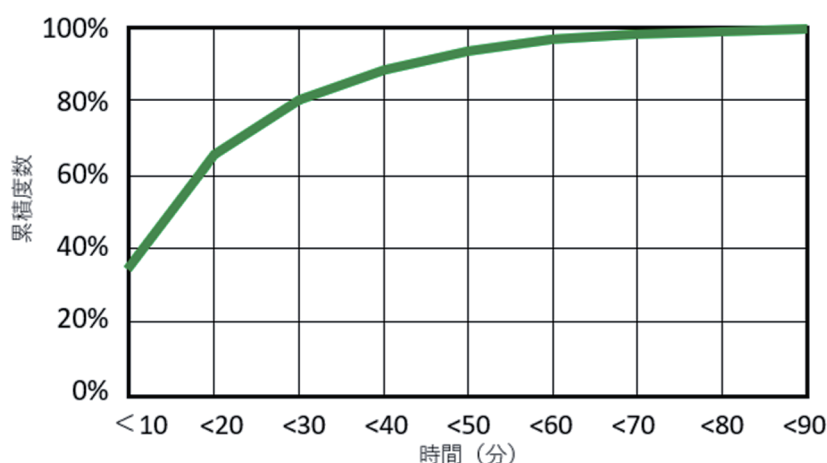


図3 高速道路の SA/PA における休憩時間の分布の ETC データからの推定結果 [10]

以上をEVが占めたりしている。(なおハイブリッド車でも、例えば15%ぐらい燃費が悪化したりするようである。)

このうち航続距離や充電時間については、特に誤解が多い。まず、給油時間と充電時間を比べてはいけない。内燃機関車の給油中は車を離れられないが、EVの充電中は車を離れてトイレや食事、買物等に行ける。つまり、休憩時間内に必要な量の充電が出来るかどうかが大切である。

ETC2.0のデータを用いた推計によれば[10]、殆どのドライバーは2時間走る前に休憩を入れる。時速100km/hならば200kmを走る時間である。そして一回の休憩時間は、6割が10分以上である(図3)。最新のテスラ・モデル3ならば最大250kWでの充電が可能だが、これだと200km走行分の電力(電費6km/kWhとして33kWhぐらい)を10分程度で充電可能である。つまり対応する超急速充電器さえ整備されていれば、半分以上のドライバーが、充電のために休憩時間を延ばさずにどこまでも旅を続けることが可能だと推定される。こうなると、航続距離は300km程度でも足りるようになると考えられる。

現時点では大半のEVの最大充電電力は50～80kW程度に留まっており、250kWもの電力に対応しているのはモデル3のみである。そして実際にモデル3のみが突出した売れ行きを示すのみならず、2019年12月の欧州の乗用車市場で3位に食い込んでいる。つまり現在のEVの技術でも、普通の内燃機関車と同じぐらい売れるようになったのである。他社の技術が追いつき、価格も下がってきたとき、乗用車市場の半分以上がEV化の圧力に晒される可能性が考えられる。予測通りであれば、それはほんの数年後かも知れない。

実際、多くの企業や国々がそのような変化を見越して、EVの普及促進や大規模な工場の建設を進めている。特に中国では大気汚染対策もあって、EVの導入を積極的に進めている。筆者は先日、比較的奥地の西安(人口1200万人)を訪問したが、二輪車・三輪車・配送トラック等はほぼ全てEV、路線バス・タクシーも何割もがEV化されていた。街中には大規模な充電ステーションが整備され(図4)、また300台ほど数えた限り、行き交う普通の乗用車も1割近くが既にEVに置き換わっていた。そもそも黒煙・白煙を吐くような自動車を一台も見かけず、恐ろしい勢いで変革を進めていると感じられた。



図4 西安の街中の充電ステーション。急速充電器が何十台も並ぶ

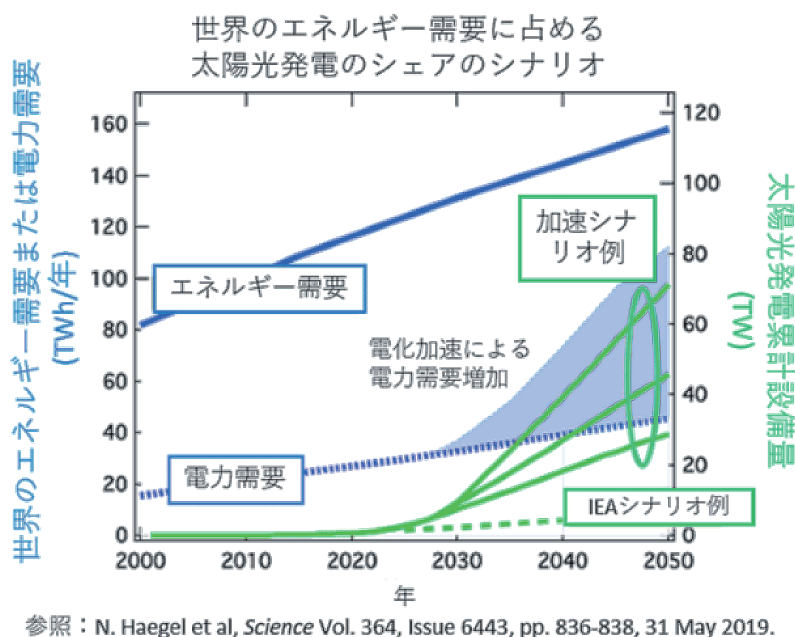


図5 高太陽光発電の普及シナリオと、電化加速によるエネルギーの低炭素化の概略図 [6]

150～350kW級の超急速充電器網の整備も、各国で進められている。だが我が国では、未だに50～90kW程度の充電器しか整備されていない。おそらくこれではEVの普及は進まず、日本だけが取り残されることになるだろう。これが日本にとって良い事だとは、筆者には思えない。にも関わらず、「EVは排出量削減にならない」等の言説がまことしやかに流布されているのが現状である。筆者が出典の論文まで遡って確認したところ、そうした主張はいずれも何か、最新のEVには適用できない条件が想定されていた。特にバッテリー製造時の排出量が100kg-CO₂/kWhを超えるような大きな数値が設定されているケースが多いが、中国企業を含めて大手のバッテリーメーカーは軒並み再生可能エネルギーの利用を進めているため（何しろ安価なので）、今後のEVを論じるには不適切な想定であると言える。

一般論としては、EVは排出量削減になる[11,12]。電力の低排出化が進むにつれ、内燃機関車では決して実現できない水準まで、低排出化できる。逆にEV（もしくはFCV）の普及は化石燃料への依存を減らし、気候変動のリスクを抑制するために非常に有効であり、不可欠である。運輸部門の電化を進めることで、再エネによる低炭素化の余地が広がる（図5）[6]。

EVは経済的にもユーザの得になるのは時間の問題であり、技術的にも実用域に達しつつある。何よりもEVは反応が即時かつリニアで運転しやすく、静かで、振動も排ガス臭さもない。普及はもはや止まらないと見られており、たとえば2030年までに新車の3～4割がEVになるとする予測も、調査会社各社（BNEF, WoodMac等）から発表されている。その自動車を重要産業とする日本が、不適切な想定に基づく情報などを強調し、変化から現実逃避している状況は非常に危険ではないだろうか。

4. 変化への対応は、情報の信頼性の確認から

先述のようにコストは安いことから、太陽光を始めとする低炭素エネルギーの普及自体は基本的に元が取れる話である。その普及が遅れている理由は、単なるコストの話だけではない。そもそも「コスト」がかかることはそれだけ新しいビジネスが生まれるということでもあるので、純粋に経済面で見れば中立の話である。

では何が問題かと言うと、「変化」そのものである。例えば昨日まで石炭を掘っていた人が、明日か

ら風力発電機のメンテナンス企業に転職するようなケースが発生する。今までとは違う技術やビジネスを習得して生きていかなければならない、その変化こそが「負担」なのである。その変化の負担を緩和しながらも変化を加速する、そんな行動が求められているのである。その変化を否定するために、科学的な根拠が十分示されていないような主張を意図的に流布する、といった事例も残念ながら散見される。今までと同じでいい、変化しなくていい、そのまま動かずにいればいいと囁く主張は、得てして耳に心地よく響く。誤った情報だと指摘されても、またそれを求めてしまう方々も居る。だが信頼性に欠ける主張に騙されれば、遅かれ早かれ、損をする。誤った情報に翻弄され、心身までも害しかねない。まさに麻薬であり、社会の害悪である。

そんな主張に対処する方法は、科学的な信頼性の検証である。別に専門的なことまで突っ込む必要はない。科学者、あるいはその卵の読者諸賢にとっても、自分の専門外の事柄について理解するのは骨が折れるであろう。そんな時のために、Web of Science や google scholar のような論文専用のデータベース（サイテーションインデックス）がある。これらを用いて、ある主張が本当にその分野の専門家達に認められているのか、反論やコメントが出ていないかどうか、確かめるのが大事である。

これはボクシングに例えれば、試合内容が全て公開され、誰でも戦歴が確認できることに相当する。ニセ科学の主張は大抵、インパクトファクターすらつかないような見せかけの「論文誌」や、一般向けの書籍や SNS、YouTube 等にしか載っていない。論拠としてまともな論文を挙げていても、特殊なケースを拡大解釈して一般論だと主張する等、その論文に書かれていない主張を勝手に付け加えたり、歪曲したりしている。

例えば、「温暖化は人為的では無い！」等の主張が巷で散々流布されている。しかしこれが本当ならばノーベル賞級の大業績で、当該分野の世界中の科学者が目にするような論文誌、たとえば Nature や Science や PNAS 等に投稿して、その主張の真偽を問うべきところだ（図6）。ところがこうした論文誌に、そんな論文は見当たらない。先のボクシングの例えで言えば、「オレはあの世界チャンピオン達よりも強いんだぞ！」とリング外でヤジっているような状態である。そんなヤジを飛ばす方に言うべきことは、一つである。「じゃあアンタ、チャンピオン達と同じリングに上がって、ちょっと揉まれてきて見せてくれよ」。Nature なり Science なりに投稿して、反論も全部科学的に退けてみせてくれ。これだ

(気候変動関連の例)		
論文誌名	インパクトファクター(世界最大級の論文データベースに基づく、影響力の指標。2020年2月時点)	
最も広く読まれる		
Nature	43	たとえば温暖化の真偽に関わるような事柄に本当に信頼性があるなら、科学的な大業績のはず。このあたりに掲載されないとおかしい。
Science	41	
PNAS (米国科学アカデミー紀要)	10	
そこそこ読まれる		
Environmental Research Letters	6	
Geophysical Research Letters	5	
Global Planet Change	4	
Journal of Geophysical Research	3	
あまり読まれないかも (比較的マイナーな学術論文誌)	1~2)	
世界では参照されない (査読なしの機関誌等)	なし)	

図6 気候変動分野の論文が載る学術論文誌の例とインパクトファクター

けで、とことん突っぱねることが出来る。見るべきはヤジだけの観客でなく、リングの中の、当該分野の専門家達である。

エネルギーや環境の問題はいよいよ深刻化し、対策は待ったなしの状況である。だが必要な道具はもう粗方、我々の手の中にある。その筋道も見えている。今の日本に必要なのは、情報の信頼性確認を徹底することと、変化に対応していく姿勢そのものだと言えるだろう。本稿が何らかの形で読者諸賢の役に立てば、幸甚である。

参考文献

- [1] pvXchange, Price index, <https://www.pvxchange.com/en/price-index>
- [2] Bloomberg New Energy Finance, “The First Phase of the Transition is About Electricity, Not Primary Energy”, January 28, 2020.
<https://about.bnef.com/blog/the-first-phase-of-the-transition-is-about-electricity-not-primary-energy/>
- [3] EWG, LUT, GLOBAL ENERGY SYSTEM BASED ON 100% RENEWABLE ENERGY, April 2019, http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf
- [4] Pehl et al., Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling, *Nature Energy* 2, 939-945 (2017) . <https://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>
- [5] UNEP, Emissions Gap Report 2019, 26 November 2019.
<https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>
- [6] N.M. Haegel et al., “Terawatt-scale photovoltaics: Transform global energy”, *Science* 364, Issue 6443, pp.836-838, 31 May 2019. <https://science.sciencemag.org/content/364/6443/836.summary>
- [7] IEA, The Power of Transformation (邦訳：電力の変革)、2014.
<https://www.nedo.go.jp/content/100643823.pdf>
- [8] Bloomberg New Energy Finance, Electric Car Price Tag Shrinks Along with Battery Cost, Apr 2019.
<https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-04-12/electric-vehicle-battery-shrinks-and-so-does-the-total-cost>
- [9] Plug In America, Battery Survey: Tesla Model S.
<https://survey.pluginamerica.org/model-s/charts.php>
- [10] 平井他、ETC2.0 プローブデータを活用した都市間高速道路における休憩行動分析、第36回交通工学研究発表会論文集、2016年 .
https://www.i-transportlab.jp/_userdata/papers/1232_JSTE36_kyuukei.pdf
- [11] Marco Miotti et al., Personal Vehicles Evaluated against Climate Change Mitigation Targets, *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 20, 10795-10804.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b00177>
- [12] <http://carboncounter.com/>